

RC 橋脚 - 場所打ち杭基礎間の
信頼性設計法に関する基礎的研究

東北大学 学生員 松中亮治 東北大学 正会員 秋山充良
東北大学 フェロー 鈴木基行 東北大学 学生員 土井充

1. はじめに

平成8年道路橋示方書¹⁾(以下、道示と略)では、杭基礎やケーソン基礎等は橋脚以上の保有耐力を持たせることを基本としており、基礎の設計水平震度を橋脚の保有耐力に相当する震度の1.1倍と規定している。しかしながら、その設計水平震度の設定根拠は明確ではない。基礎の設計水平震度は、基礎の設計時に考慮できていない地盤変形の影響と、基礎の耐力算定式や地盤の持つ大きな不確定性等を確率論に基づき考慮した上で設定される必要があると考える。しかもその際には、基礎構造物の地震時の損傷が、予算的にも工期的にも被災調査や復旧工事が大掛かりなもの

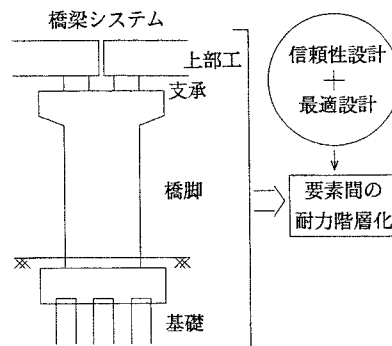


図-1 耐力階層化の方法

となる反面、単に過剰な耐力を与えることは経済性を損なう設計をすることにも配慮しなければならない。そこで、本研究では、著者等により提案された複数の限界状態を同時に考慮した構造系信頼性評価法²⁾を基に、構造最適化手法の概念を取り入れることで、安全性と経済性の観点から基礎の設計水平震度の設定を試みる。これにより、上部工-RC橋脚-場所打ち杭基礎から成る橋梁システムが、所定の安全性を有するための各部位・部材の信頼性設計法が確立されると思われる。

2. RC 橋脚 - 場所打ち杭基礎間の信頼性設計法

(1) 解析対象 RC 橋脚 - 場所打ち杭基礎系

解析対象は、図-1に示した中間 RC 橋脚と場所打ち杭基礎である。支承条件は固定とし、設計振動単位は1径間分の上部構造とそれを支持する1基の橋脚と見なせる場合を想定した。

(2) 構造系信頼性評価法による破壊確率算定

RC 橋脚と場所打ち杭基礎間の限界状態に着目し、「耐力項」-「外力項」で表される3つの限界状態式、 g_1 = 「橋脚の曲げ耐力」 - 「作用曲げモーメント」、 g_2 = 「杭降伏時の曲率塑性率」 - 「杭曲率塑性率(= 1.0)」、 g_3 = 「(杭先端部の極限支持力 + 杭の周面摩擦力の総和)」 - 「杭頭反力」、を設定した。 g_1 は曲げ破壊型の橋脚に対する安全性照査、 g_2 および g_3 は道示に規定される杭基礎の降伏に対する安全性照査に相当する。外力項に相当する作用曲げモーメント等は動的解析結果を用い、各限界状態式が負となる確率(破壊確率) $P(E_1)$ 、 $P(E_2)$ 、 $P(E_3)$ を算出する。今、 $P(E_1) \geq P(E_2) \geq P(E_3)$ と仮定すると、これら複数の限界状態を同時に考慮した橋梁システムとしての破壊確率 $P(E_{sys})$ は、次式で与えられる²⁾。

$$P(E_{sys}) = P(E_1) + P(E_2) + P(E_3) - P(E_2E_1) - P(E_3E_1) - P(E_3E_2) - P(E_3E_1 \cap E_3E_2) \cdots (1)$$

ここに、 $P(E_k)$:1次ガウス近似法による破壊確率($k = 1 \sim 3$)、 $P(E_k E_m)$:Ditlevsenの限界値を基に算出される破壊事象 E_k と E_m の結合確率³⁾($k = 2, 3, m < k$)、 $P(E_3E_1 \cap E_3E_2)$:構造系信頼性評価法を基に算出される破壊事象 E_3E_1 と E_3E_2 の結合確率²⁾。解析にあたり、RC橋脚は全てのモデルで同一とした。杭基礎は杭本数(3×3、4×4)と杭径($\phi 1.0$ 、 1.2 、 1.5 m)を持つ7種を想定し、杭基礎降伏震度 k_{bf} を道示の規定に従い算出した。このようなRC橋脚と各降伏震度を持つ杭基礎に対して、道示に規定される

Key Words: 信頼性理論, 構造最適化問題, RC橋脚, 場所打ち杭基礎, 耐震設計

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒港字青葉06 TEL 022(217)7449 FAX 022(217)7448

タイプII地震動を入力したときの各破壊確率値を表-1に示した。なお、道示の規定に従い設計される杭基礎は、RC橋脚の保有耐力から $k_{hf} = 0.70$ 以上を有する必要がある。

(3) 信頼性設計法

信頼性設計法とは、与えられた荷重あるいは様々な環境条件下で許容信頼性レベル（許容される破壊確率 P_{fT} ）を満足する中で、破壊による損失も含めたトータルコストを最小化する設計法であり、次式で表される。

$$\min. C_T = C_I + \sum P(E_i)C_{Ri} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2)$$

$$s.t. P(E_{sys}) \leq P_{fT} \quad (3)$$

ここで、式(2)はコスト最小化を図るための目安となる目的関数で、 C_T はトータルコスト、 C_I は初期建設コスト、 $P(E_i)$ 、 C_{Ri} は各限界状態に対する破壊確率と補修コストである。

橋梁システムへの適用にあたり、 C_I と C_{Ri} の算定は文献3)に従った。また、 P_{fT} としては、現行設計法による構造物が有する信頼度を保持することを目的に、表-1に示した $k_{hf} = 0.70$ のときの $P(E_{sys}) = 0.47$ とした。

表-1で示した7つの杭諸元に対する式(2)中の各項の算定結果を表-2に示した。また、杭基礎の各降伏震度に対する橋梁システムとしての破壊確率 $P(E_{sys})$ とトータルコスト C_T の関係を図-2に示した。図-2より k_{hf} が0.85のときに、許容破壊確率 $P_{fT} = 0.47$ を十分満足し、同時にトータルコストが最小化された最適値が探索されたと言える。

本解析より、現行示方書で規定する杭基礎の設計水平震度を高く設定し直すことで、橋梁システムとしての安全性も向上し、結果として、破壊による損失も含めたトータルコストを小さくできる可能性が示唆された。今後は、杭基礎の降伏震度を上昇させることにより、RC橋脚に損傷が集中する可能性があることや、地盤モデルの相違による影響を考慮した上で、杭基礎の設計水平震度を検討していく必要がある。

3. まとめ

本研究では、複数の限界状態を同時に考慮した安全性評価法と非線形性を考慮できる最適設計法を組み合わせた信頼性設計法を確立する予定である。それを上部工-RC橋脚-場所打ち杭基礎系に適用することにより、安全性と経済性の両面を考慮した合理的な各部位・部材の耐震設計法が提示できると考える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，1996.12.
- 2) 鈴木基行，秋山充良，山崎康紀：構造系の安全性評価法およびRC橋脚の耐震設計への適用に関する研究，土木学会論文集，No.578/V-37，pp.71-87，1997.11.
- 3) 庄司学，藤野陽三，阿部雅人：高架橋システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み，土木学会論文集，No.563/I-39，pp.79-94，1997.4.

表-1 杭基礎降伏震度と破壊確率値

杭諸元	k_{hf}	$P(E_1)$	$P(E_2)$	$P(E_3)$	$P(E_{sys})$
$\phi 1.0(3 \times 3)^*$	0.70	0.14	0.06	0.35	0.47
$\phi 1.0(3 \times 3)^*$	0.85	0.14	0	0.30	0.40
$\phi 1.2(3 \times 3)$	1.05	0.12	0	0.12	0.23
$\phi 1.0(4 \times 4)$	1.15	0.11	0	0.04	0.14
$\phi 1.5(3 \times 3)$	1.20	0.11	0	0.04	0.14
$\phi 1.2(4 \times 4)$	1.30	0.11	0	0.03	0.13
$\phi 1.5(4 \times 4)$	1.90	0.11	0	0.02	0.12

* 杭に含まれる軸方向鉄筋量を変化

表-2 各コストの比較 (単位: 百万円)

杭諸元	k_{hf}	C_I **	$\sum P(E_i)C_{Ri}$	C_T
$\phi 1.0(3 \times 3)$	0.70	9.2	4.8	14.0
$\phi 1.0(3 \times 3)$	0.85	9.2	3.6	12.8
$\phi 1.2(3 \times 3)$	1.05	11.1	2.6	13.7
$\phi 1.0(4 \times 4)$	1.15	15.4	2.1	17.5
$\phi 1.5(3 \times 3)$	1.20	16.4	2.0	18.4
$\phi 1.2(4 \times 4)$	1.30	19.8	1.9	21.7
$\phi 1.5(4 \times 4)$	1.90	27.5	1.9	29.4

** 杭の建設コストのみを考慮

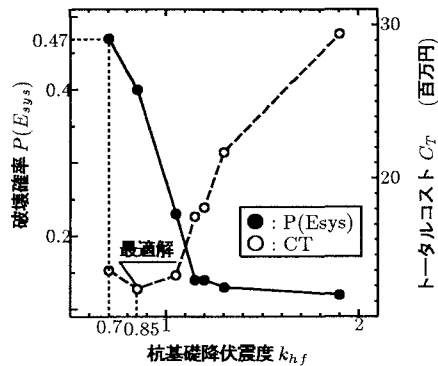


図-2 杭基礎降伏震度に対するコストと破壊確率